

15 ← 3Φ induction motor له منحنى إيجر عنه وكذلك كل load (2)

منحنى إيجر عن نقطة تقاطع المنحنيين هي نقطة تشغيل 3Φ motor وأيضا كل 3Φ motor يشغل load معينة

## II Starting Torque ( $T_{st}$ )

$$T = T_{st} \text{ at } s=1$$

To get  $T_{st}$  sub in  $T$  equation by  $s=1$

$$T_{starting} = \frac{3 V_1^2 \hat{R}_2}{\omega_s (R_1 + \hat{R}_2)^2 + (X_1 + \hat{X}_2)^2}$$

## 2. $S_m$

to get  $S_m$   $\frac{dT_m}{ds} = 0$

الخط 2 ندره نقطة

$$T_m = \frac{3}{\omega_s} \cdot \frac{V_1^2 \hat{R}_2 / s}{(R_1 + \frac{\hat{R}_2}{s})^2 + (X_1 + \hat{X}_2)^2}$$

$$\frac{dT_m}{ds} = \frac{\text{(تفاضل المقام) البسط - (تفاضل البسط) المقام}}{(\text{المقام})^2} = 0$$

$$\therefore \text{(تفاضل المقام) البسط - (تفاضل البسط) المقام} = 0$$

$$\therefore \left[ (R_1 + \frac{\hat{R}_2}{s})^2 + (X_1 + \hat{X}_2)^2 V_1^2 \left( \frac{-\hat{R}_2}{s^2} \right) \right] - \left[ V_1^2 \frac{\hat{R}_2}{s} \left( 2(R_1 + \frac{\hat{R}_2}{s}) \left( \frac{-\hat{R}_2}{s^2} \right) \right) \right] = 0$$

$$\therefore (R_1 + \frac{\hat{R}_2}{s})^2 + (X_1 + \hat{X}_2)^2 V_1^2 \left( \frac{-\hat{R}_2}{s^2} \right) = V_1^2 \frac{\hat{R}_2}{s} \left( 2(R_1 + \frac{\hat{R}_2}{s}) \left( \frac{-\hat{R}_2}{s^2} \right) \right)$$

نقل المقادير نحصل على

## III At Approximate Circuit

$$S_m = \frac{R_2}{\sqrt{(R_1)^2 + (X_2 + X_1)^2}}$$

## IV At Exact Circuit

$$S_m = \frac{R_2}{S_2}$$

ROX

at approximate circuit

$$S_m = \frac{R_2}{\sqrt{(R_1)^2 + (X_2 + X_1)^2}}$$



[3]  $T_{max}$

$T = T_{max}$  at  $s = s_m$

to get  $T_{max}$  sub in T equation by  $s_m$

$$T_{max} = \frac{3 V_1^2 R_2 / s_m}{\omega_s \left( R_1 + \frac{R_2}{s_m} \right)^2 + (X_1 + X_2)^2}$$

[4]  $T_{Full load}$

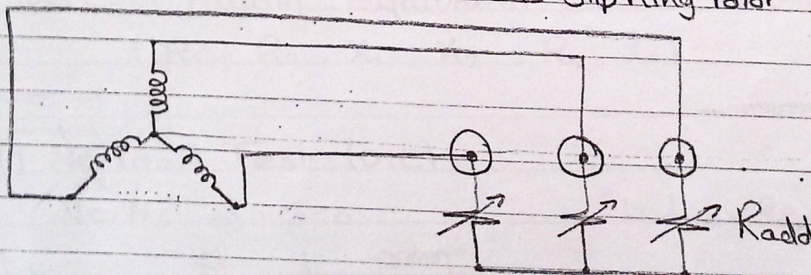
$T = T_{FL}$  at  $s = s_{FL}$

to get  $T_{FL}$  sub in T equation by  $s_{FL}$

$$T_{FL} = \frac{3 V_1^2 R_2 / s_{FL}}{\omega_s \left( R_1 + \frac{R_2}{s_{FL}} \right)^2 + (X_1 + X_2)^2}, \quad s_{FL} = \frac{N_s - N_{FL}}{N_s}$$

Effect of Change in rotor resistance on Torque

تأثير تغيير مقاومة rotor على التورق  
هذا لا يحدث الا في Slip Ring rotor فقط



$$T = \frac{3}{\omega_s} \frac{V_1^2 \left( \frac{R_2 + R_{add}}{s} \right)}{\left( R_1 + \frac{R_2 + R_{add}}{s} \right)^2 + (X_1 + X_2)^2}$$

$T_{max} = \text{Constant}$

$T_{st}$  increase

$T_{FL}$  decrease

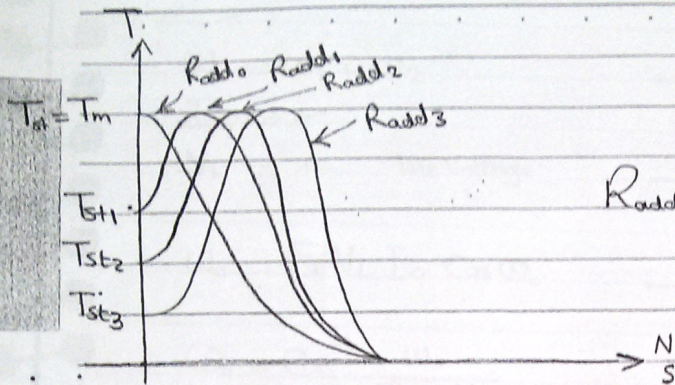
$s_m$  increase

For  $\Rightarrow T_{max} = T_{st}$   
 $s_m = 1$



ROM





$$R_{add0} > R_{add1} > R_{add2} > R_{add3}$$

For  $T_{max} = T_{st}$

$$S_m = 1$$

$$S_m = \frac{R_2 + R_{add}}{\sqrt{R_1^2 + (X_1 + X_2)^2}} = 1$$

$$\therefore R_2 + R_{add} = \sqrt{R_1^2 + (X_1 + X_2)^2}$$

$$R_{add} = \sqrt{R_1^2 + (X_1 + X_2)^2} - R_2$$

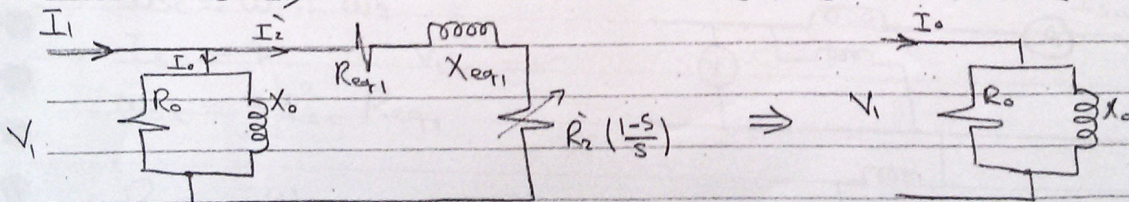
Tests to obtain Equivalent Circuit Parameters

( $R_1, R_2, X_1, X_2, R_0, X_0$ )

### II No load Test (o.c)

$$N \approx N_s \Rightarrow S = 0$$

Motor يتحرك بأقصى سرعة بدون حمل



$$S = 0 \therefore R_2 \left( \frac{1-S}{S} \right) = \infty$$



We want to calculate Voltage, Current and power  
Using Ammeter, Voltmeter and wattmeter

ROX



$$W_0 = W_1 + W_2$$

Date: \_\_\_\_\_ No: \_\_\_\_\_

$$W_0 = W_1 + W_2$$

$$I_0 = \text{---}$$

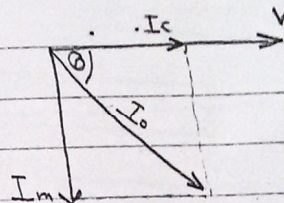
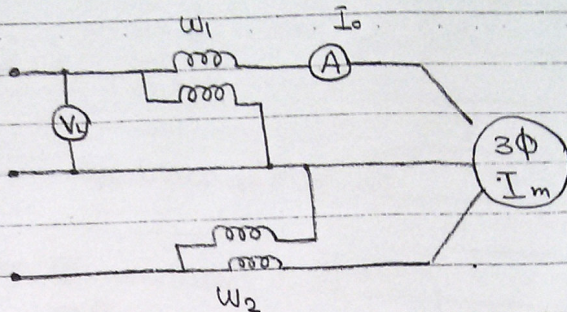
$$V_L = \text{---} \text{ line Voltage}$$

$$W_0 = \sqrt{3} V_L I_0 \cos \phi_0$$

$$\phi_0 = \cos^{-1} \frac{W_0}{\sqrt{3} V_L I_0}$$

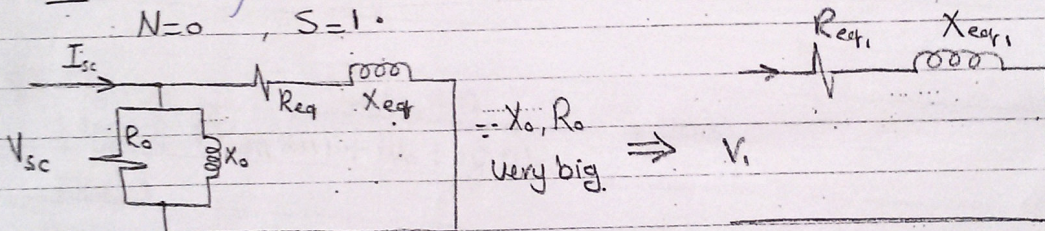
$$R_0 = \frac{V_L / \sqrt{3}}{I_c}, \quad X_0 = \frac{V_L / \sqrt{3}}{I_m}$$

$$I_c = I_0 \cos \phi_0, \quad I_m = I_0 \sin \phi_0$$



## [2] Blocked rotor test (s.c)

$$N=0, \quad S=1$$



$$R_2 \left( \frac{1-s}{s} \right) = 0 \quad (s.c)$$

→ we want to calculate  $W_{s.c}$ ,  $V_{s.c}$  (line),  $I_{s.c}$

$$W_{s.c} = W_1 + W_2$$

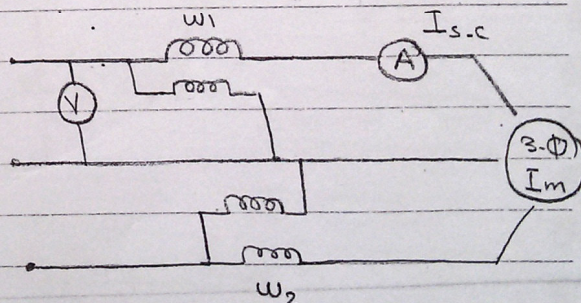
$$I_{s.c} = \text{---} \quad V_{L.s.c} = \text{---}$$

$$W_{s.c} = 3 I_{s.c}^2 R_{eq1}$$

$$R_{eq1} = \frac{W_{s.c}}{3 I_{s.c}^2}$$

$$Z_{s.c} = \frac{V_{L.s.c} / \sqrt{3}}{I_{s.c}} = \sqrt{R_{eq1}^2 + X_{eq1}^2}$$

$$X_{eq1} = \sqrt{Z_{s.c}^2 - R_{eq1}^2}$$





$$\% \eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100$$

$$P_{out} = \text{h.p} \Rightarrow (\text{h.p} = 746 \text{ w})$$

$W_0$  : No load power losses ① Iron losses ( $P_c + P_h$ )  
② Friction losses

$W_{s.c}$  :  $P_{cu}$  at Fullload

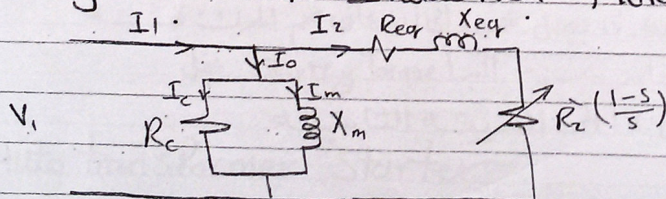
$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{out} + \text{losses}}$$

$$\% \eta = \frac{P_{out \text{ P.L.}}}{P_{out \text{ P.L.}} + W_0 + W_{s.c}} \times 100 \text{ at Fullload}$$

$$\% \eta_{full} = \frac{P_{out \text{ P.L.}} \times \eta}{(P_{out \text{ P.L.}} \times \eta) + W_0 + \eta^2 W_{s.c}} \times 100$$

↑  
Fullload

Starting of 3  $\Phi$  Induction Motor



$$\bar{I}_2 = \frac{V_1}{\sqrt{(R_{eq} + R_2 \frac{1-s}{s})^2 + (X_{eq})^2}} \text{ at Starting } S=1$$



$$\therefore \bar{I}_{2 \text{ starting}} = \frac{V_1}{\sqrt{R_{eq1}^2 + X_{eq1}^2}}$$

ROX

$$I_{st} = (5 \rightarrow 8) I_{P.L.}$$

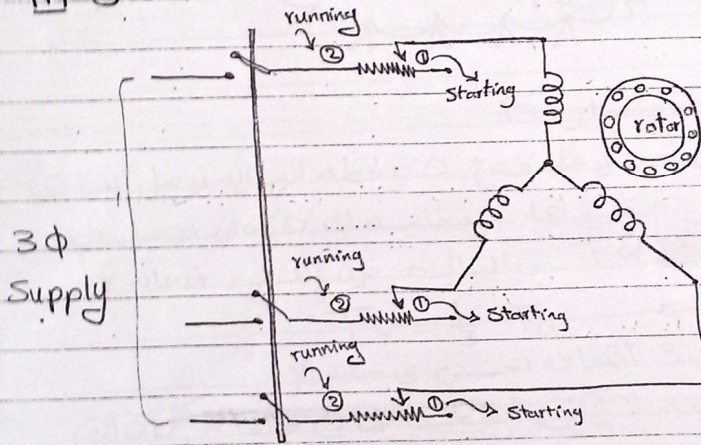


لحظة عمل المحرك  $I_{PL} = (5-8) I_{FL}$  أي أنه يسحب تيار من 5 إلى 8 أضعاف التيار عند Full load لذا لابد من إيجاد طرق لتقليل التيار المسحوب عند لحظة بداية عمل المحرك

→ There is 5 ways to make starting to reduce the starting current.

- 1 Stator resistance Starter ← كل محرك له طريقة مناسبة لكل Starting له
- 2 Auto transformer Starter
- 3 Star delta Starter
- 4 rotor resistance Starter
- 5 Direct on line Starter (D.O.L)

## 1 Stator resistance Starter



تعتمد هذه الطريقة على وضع مقاومة متغيرة عند ملفات Stator

عيوب هذه الطريقة:

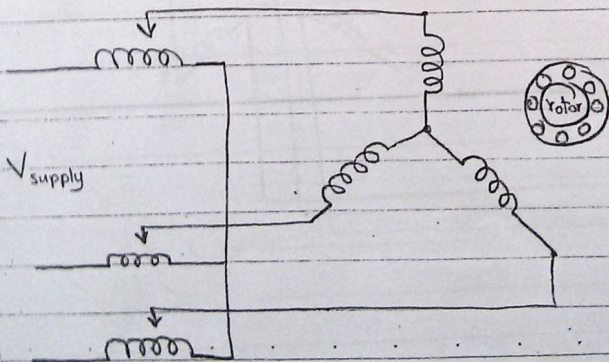
- 1- التيار لحظة Start يكون كبير وبالتالي losses تكون كبيرة
- 2- المقاومة المتغيرة المستخدمة يكون لها Power كبير لتحمل التيار الكبير لحظة البداية وبالتالي حجمها

يكون كبير و كذلك التكلفة قد يصل حجمها إلى أضعاف حجم المحرك نفسه

3- عندما يعمل التيار فإنه عزم البقاء Starting Torque يقل

لذلك نلجأ إلى الطريقة الثانية

## 2 Auto transformer Starter



→ هنا تم استبدال المقاومة

المتغيرة بملفات متغيرة

← عيب هذه الطريقة

السعر غال

← ميزة هذه الطريقة

تتغلب على losses Power

نظراً لصغر مقاومته

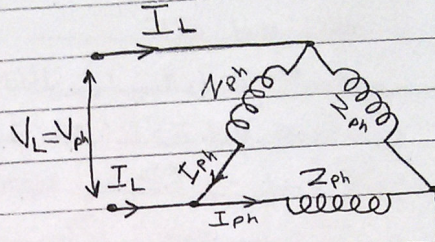
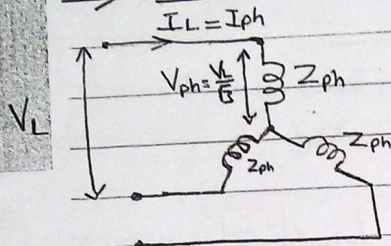
الملفات



### B] Star delta Starter

→ This way is the most used

→ We know



$$I_{ph \gamma} = I_L = \frac{V_{ph}}{Z_{ph}} = \frac{V_L}{\sqrt{3} Z_{ph}}$$

$$I_{ph \Delta} = \frac{V_{ph}}{Z_{ph}} = \frac{V_L}{Z_{ph}}$$

Then →

$$I_{ph \gamma} = \frac{I_{ph \Delta}}{\sqrt{3}}$$

←  $I_{ph \gamma}$  أصغر من  $I_{ph \Delta}$  بمقدار  $\sqrt{3}$

لذا في حالة المحركات التي تـ ل على وضع  $\Delta$ ، لحظه البدء توصيل الملفات على الوضع  $\gamma$  ليقل التيار ثم تحولها مرة ثانية الى  $\Delta$  حتى نحصل على أعلى عزم حيث أن  $T \propto I^2$  وبالتالي فإن العزم في حالة  $\gamma$  يختلف عن حالة  $\Delta$

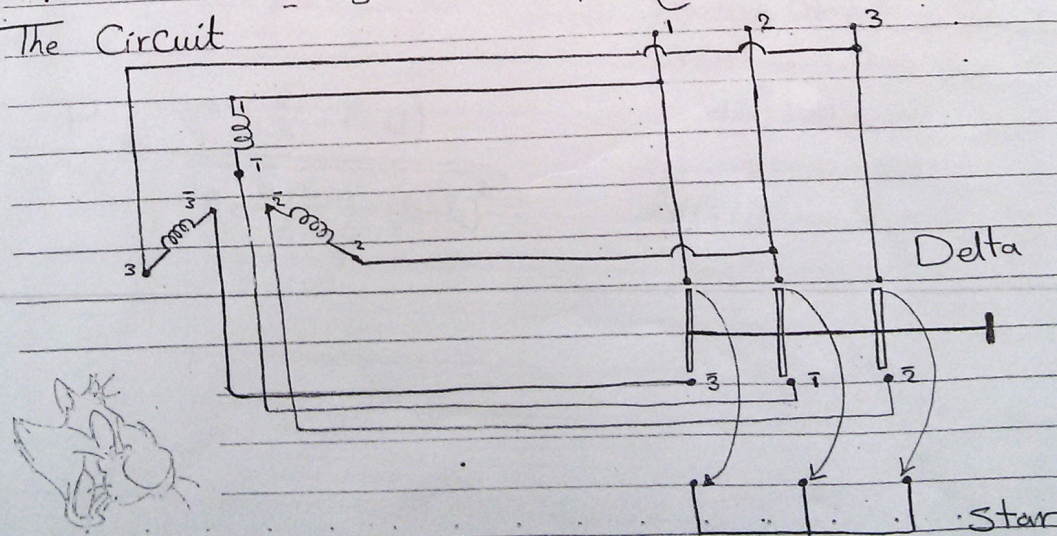
$$T_{\gamma} = \frac{1}{3} T_{\Delta}$$

وهذا العزم في حالة  $\Delta$  عيشل 3 أضعاف العزم في حالة  $\gamma$

← لاحظ أن هذه الطريقة لا يمكن استخدامها في حالة المحركات التي

تعمل على الوضع  $\gamma$ . Star نهائياً

The Circuit



ROX



مميزات هذه الطريقة

1- لا يوجد مفاقد

2- التكلفة أقل وحجم المحرك ثابت

عيوب هذه الطريقة

1- عليه Starting قلة التيار وبالتالي العزم يقل هذا العيب

مشترك في كل الطرق لذا عند عمل Starting لا بد من ضمان

أن Torque المحرك أكبر من Torque Load حتى لا يحرق

المحرك لأنه ليس عيب تيار كبير

← لاحظ أن المفتاح ينتقل بين Star و Delta أو توملتيجا

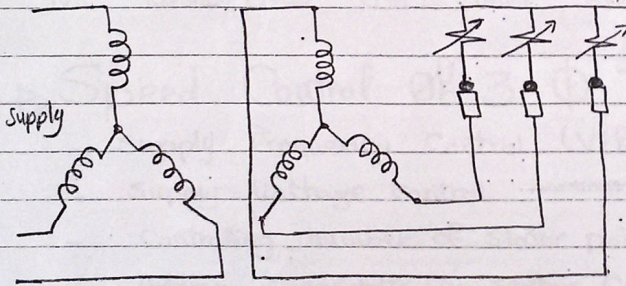
حيث أنه في حالة انقطاع التيار الكهربى والمحرك يعمل لا بد من

إعادة المفتاح إلى الوضع Star حيث عندما يعود التيار

تقلبه التشغيل يكون التيار أقل

في حالة عوده التيار والمحرك على وضع Δ فإنه سوف يسحب تيار أكبر

#### [4] Rotor resistance Starter.



تعد هذه الطريقة على وضع

مقاومة متغيرة إلى ملفان

rotor وهذا لا بد أن يكون

wound rotor حتى يمكننا فعل

ذلك

مميزات هذه الطريقة

1- قلة Starting Current

2- زود Starting Torque

عيوب هذه الطريقة

1- زود power losses

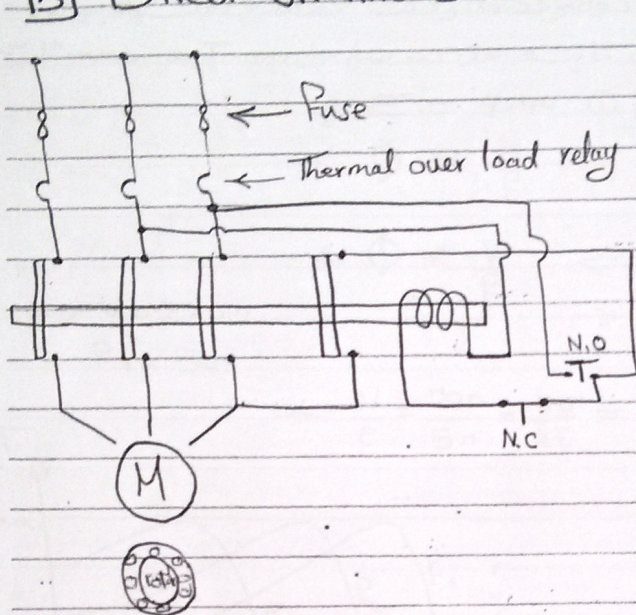
2- لا يمكن استخدامها في آلة

Squirrel Cage Rotor

$$T = \frac{P}{\omega_s} = \frac{V_1^2 \left( \frac{R_2}{s} + R_{add} \right)}{\sqrt{\left( R_1 + \frac{R_2 + R_{add}}{s} \right)^2 + (X_1 + X_2)^2}}$$



## 5 Direct on line Starter (D.O.L)



Over load

يفصل الآلة عند تحميلها أكثر

من الحد الذي تستطيع تحمله

Thermal over load

يفصل الآلة إذا زاد التيار عن

حد معين لفترة زمنية معينة

وبالتالي لا يفصله عند Starting

هذه الطريقة تستخدم

في المحركات التي قدرتها

أقل من 10 HP

باقى الطرق 4 السابقة

تستخدم مع المحركات التي قدرتها

أكبر من 10 HP

N.O : normally open (on → open , off → closed)

N.C : normally closed (on → closed , off → open)

## Speed Control of 3-Φ Induction Motor

Supply Frequency Control (V/F) Control (Ns)

Supply Voltage Control (S)

Controlling number of stator poles (Ns)  $N_r = N_s (1 - s)$

Adding rheostats in stator circuit (S)  $\frac{120P}{P}$

Adding external resistance in the rotor circuit (S)

## Supply Frequency Control

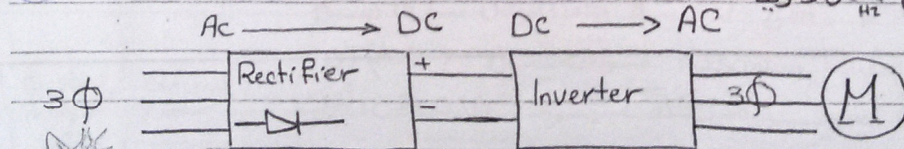
تعلم أن التردد ثابت لكل المصادر

50 Hz لكل العالم 60 Hz لأمريكا

والسعودية لذا

فإنه يلزم دائره

لتغيير التردد حيث



V : Constant

F : Constant

V : Variable

F : Variable

تكون AC بتردد 50 Hz

الـ DC ثم الـ DC إلى

AC بالتردد المطلوب

ROX



في هذا النوع يتم تغيير التردد معاً وذلك للحفاظ على النسبة بينها  
ثابت وبالتالي تظل  $\Phi$  ثابتة حتى نحصل على maximum Torque ثابت

$$E = 4.44 \Phi f T_{ph}$$

$$\therefore \Phi \propto \frac{E}{f} \Rightarrow E \propto V$$

$$\therefore \Phi \propto \frac{V}{f} \leftarrow \text{Should be Constant}$$

$$\rightarrow V_1 = 220V$$

$$f_1 = 50Hz$$

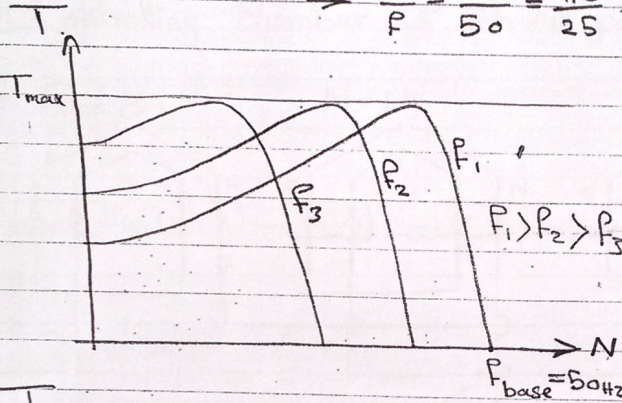
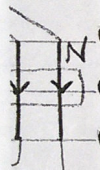
$$\rightarrow V_2 = 110V$$

$$f_2 = 25Hz$$

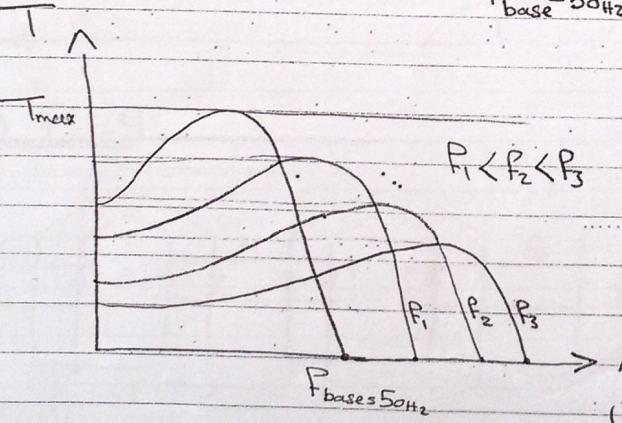
$$\rightarrow \frac{V}{f} = \frac{220}{50} = \frac{110}{25} = 4.4$$

constant

$$s \propto \frac{1}{f}$$

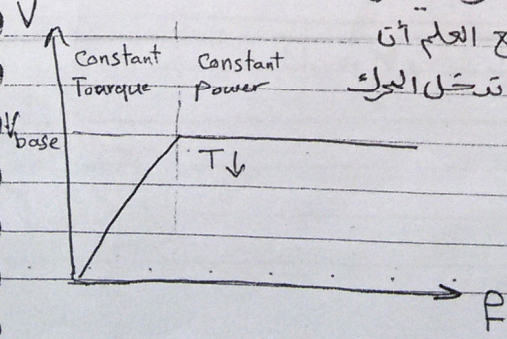


هذا الشكل يمثل الحصول على سرعة أقل من سرعة المحرك عند تردد  $f_{base} = 50Hz$  هنا يكون  $T_{max}$  ثابت حيث  $\Phi$  ثابت



إذا أردنا الحصول على سرعة أكبر من سرعة المحرك عند  $f_{base} = 50Hz$  هنا نزيد  $f$  للحصول على  $N$  أعلى وبالتالي  $V$  لازم تزيد حتى تظل  $\Phi$  ثابتة وهذا غير متحقق لأن ملفاً المحرك مصمم لتعمل عند تردد معين

وبالتالي نزيد  $f$  وتظل  $V$  ثابتة هنا الفيض سوف يقل وبالتالي maximum Torque سوف يقل مع العلم أن زيادة  $\Phi$  تسبب مشكلة كبيرة لأنها تدخل المحرك في مرحلة Saturation

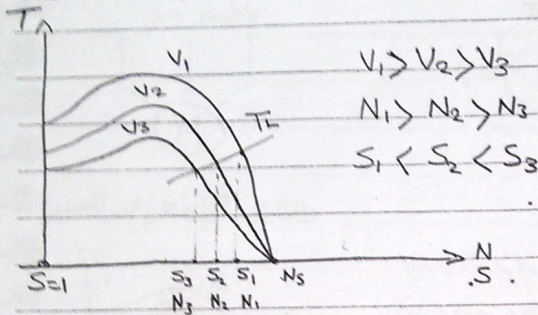


في مرحلة Saturation  $\Phi$  ثابت power ثابت  $P = T \cdot \omega$  حيث  $\omega \uparrow$   $T \downarrow$   $P = \text{constant}$



## ② Supply Voltage Control

$P$  : Constant



$$N_s = \frac{120P}{P} = \text{Constant}$$

$$N_r = N_s (1 - S)$$

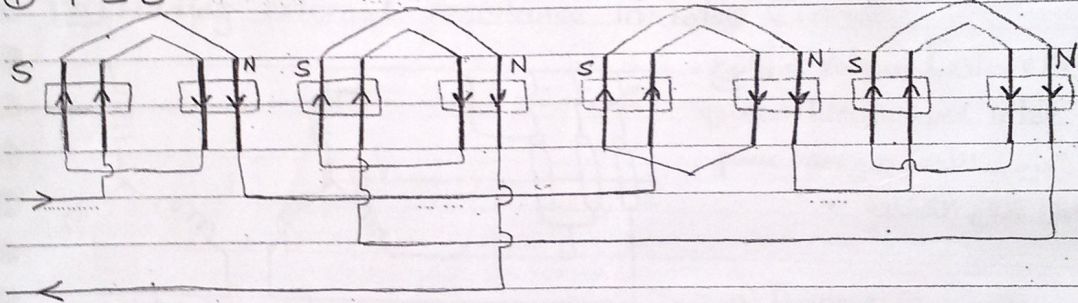
نجد أنه  $S$  تقل الكفاءة  
 $\eta = 1 - S$

## ③ Controlling Number of Stator poles.

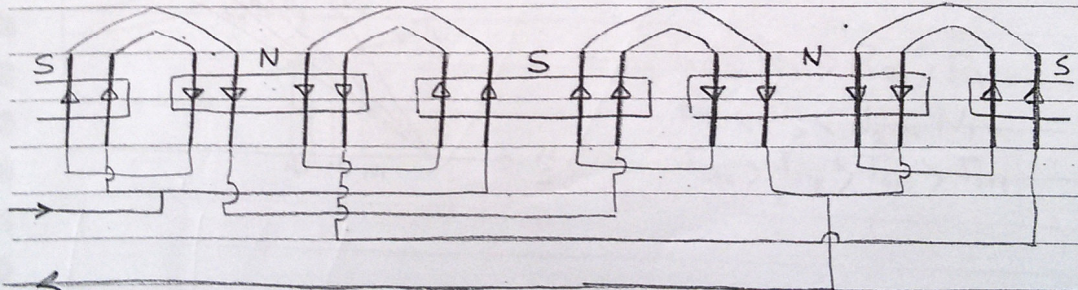
$$N_s = \frac{120P}{P}, N_s \propto \frac{1}{P}$$

①  $P=8$

$$N_r = N_1$$



②  $P=4$



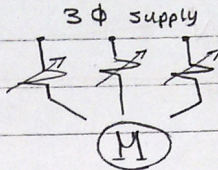
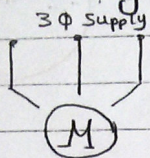
$$N_r = N_2 = \frac{1}{2} N_1$$



عيب هذه الطريقة أن المحرك يتحرك  
 بسرعة  $N$  أو  $\frac{N}{2}$  فقط



#### [4] Adding Rheostats in Stator Circuit

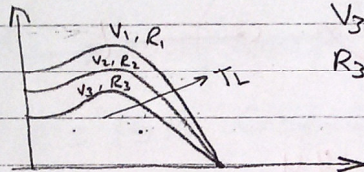


$$N_r = N_s (1-s)$$

↓  
const

هنا نلاحظ أن الجهد الداخل للمحرك

تم إضافة مقاومات متغيرة كما كانت كبيرة  
كما قل الجهد الداخل للمحرك

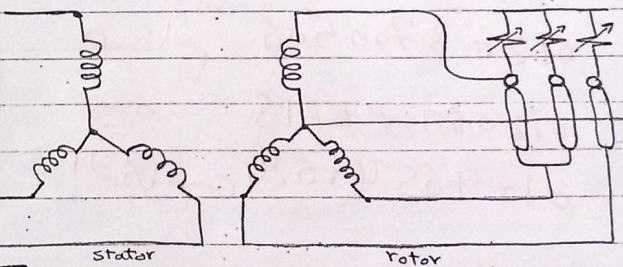


$$V_3 < V_2 < V_1$$

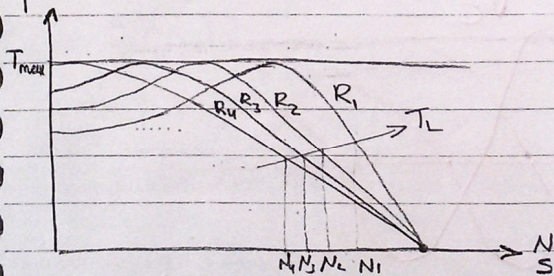
$$R_3 > R_2 > R_1$$

← عيب هذه الطريقة هو power losses

#### [5] Adding external resistance in rotor circuit



هنا لا بد أن يكون rotor من النوع wound rotor وهذا هو العيب  
والعيب الآخر هو power losses التي تقل الكفاءة



← المميز أن Torque ثابت  
في زمن البدء  
يزيد

$$R_4 > R_3 > R_2 > R_1$$

$$N_4 < N_3 < N_2 < N_1$$

$$T_{st4} > T_{st3} > T_{st2} > T_{st1}$$